

自己検知型 AFM 式ナノプローバによる 22nm SRAM 評価

22nm SRAM Tr performance measured by self-sensing AFM Nanoprober

塩田 隆 大木敦己 天野佳之
R. Shioda A.Oki Y. Amano
Wafer Integration 株式会社
Wafer Integration Inc.

要約: 昨年報告した自己検知型 AFM 式ナノプローバ[1]を用いて、22nm SRAM のトランジスター特性を評価したので報告する。産総研の独自技術である自己検知型 AFM をナノプローバに応用することで、コンパクトでメンテナンスフリーなシステムを構成でき、10Hz での高速 AFM Scan を実現した。また、光学顕微鏡像を基に画像認識を行って針先を近接させるなど、使い勝手を良くする工夫を凝らしている。その結果、22nm という最先端の半導体においても、明瞭なトランジスター測定を行える安定性のあるプローブを実現できている。

Abstract: This paper show the transistor performance of the advanced semiconductor device measured by self-sensing AFM type nano-prober. With this measurement, self-sensing AFM show the optimized property for nano-prober. The measurement system is very compact and stable with self-sensing AFM method therefore its scan speed is up-to 10Hz even for 22nm shrink device. It also has the auto engaging mechanism of the cantilever within 2um nearest neighbor with using its optical microscope image. The self-sensing AFM type nanoprober system shows the good performance as a failure analysis tool with probing of 22nm processed device in stable and in reliable.

キーワード: ナノプローバ、自己検知型 AFM、SRAM、トランジスター評価
Keywords: Nanoprober, self-sensing AFM, SRAM, Tr performance

1. まえがき

ナノプロービングは、SEM 観察下でプロービングを行う SEM 式ナノプローバとして、2000 年台初頭から発展してきました。[2]しかし、デバイスの微細化に伴い SEM 式ナノプローバでは、電子線損傷、カーボンコンタミによる接触抵抗の上昇などから、安定的なプロービング技術として普及するに至っていません。

AFM(原子間力顕微鏡)をベースにしたシステムもありますが、タングステン製の針先に光てこ用のミラーを取り付けたカンチレバーを用いており、レーザ、4 分割光検出器などの光学系をプローブ毎に用意しなければ無いため、システムが複雑になり、安定性に欠けるきらいがありました。

昨年の LSI テスティングシンポジウムで産総研で開発された自己検知型 AFM[3]をベースにしたナノプローブシステムを開発した事を報告したが[1]、今回微細化の進んだ SRAM (22nm Processed by Intel) でのトランジスター特性を評価することに成功したので報告します。

自己検知型 AFM の技術を用いることで、ナノプローバを従来よりもコンパクトに構成することができ、10Hz という高速 Scan を実現し、光軸調整などメンテナンス作業を伴わずに簡単に電気測定を行うことができます。下図に AFM をベースにしたナノプローバにおける既存製品である光てこ式と自己検知式の模式図を示します。

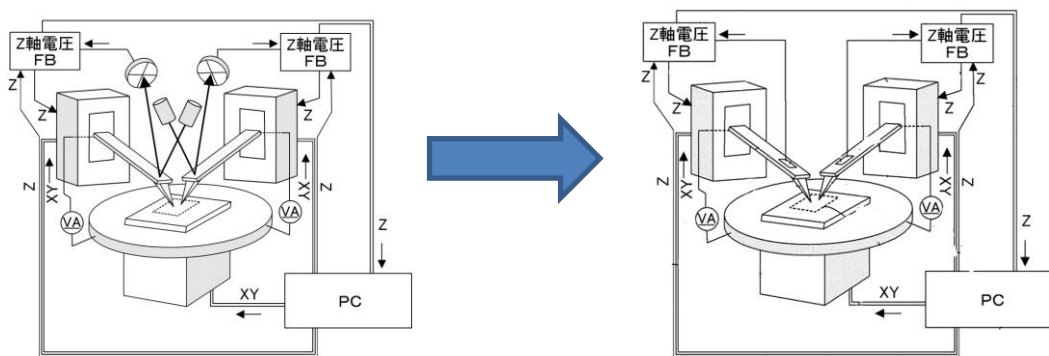


Fig. 1 Schematic view of two type AFM nano-prober

2. 開発

2.1 カンチレバー開発

当初、SII(セイコーインスツルメント:現ヒタチハイテクサイエンス)の自己検知型 AFM 用のカンチレバーを改良して、使用する予定でしたが、製作を行っているファウンドリーの不調により、大幅な計画の遅延を引き起こしてしまいました。このため、本システムの主要部品であるカンチレバーに関しては、産総研(独立行政法人産業技術総合研究所:AIST)の MEMS ラインおよびナノプロセスファシリティ(NPF)の協力の基、自社開発することを並行して行う事とし、複線化して安定供給の目途をつけることに成功しました。

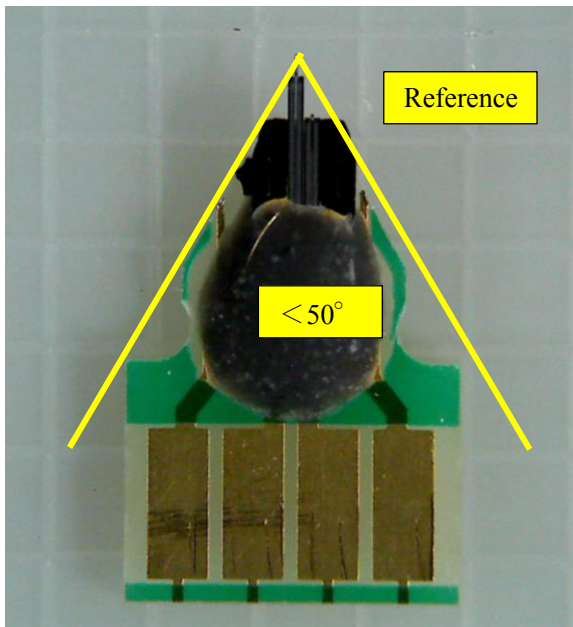


Fig.2 Photograph of Cantilever

上図に示されたカンチレバーの写真からもわかるように、ピエゾ抵抗を用いた針圧測定回路は、Tip の根元に応力集中が起きるように設置され、温度補償用の Reference を横に装備して、ブリッジ回路を使って数千倍にまで増幅した形で測定できるようになっている。この要素をカンチレバーとして針先から見込み角 50° の中に実装することでナノプローバとして 6 本までプローブできる構成になっている。専用のピンセットを用いることで、簡単にカンチレバーの交換ができる。

2.2 プローバ開発

プローバとしては、6 本まで増設できるように、ステージを 60° 振り分けで対称性良く 6 個、配置し、温度変化によるドリフトを相殺するように配慮しました。(Fig.3 参照)プローブ用、AFM Scan 用全ステージとも粗動の超音波ステージ、微動のピエゾ駆動、エンコーダを設置し Closed Loop で制御することで nm オーダーで制御することができ、ピエゾ素子特有のクリープなどによるプローブした位置のずれを nm オーダーで抑制しています。システムの剛性を上げるためにコンパクトに作りこんであります。

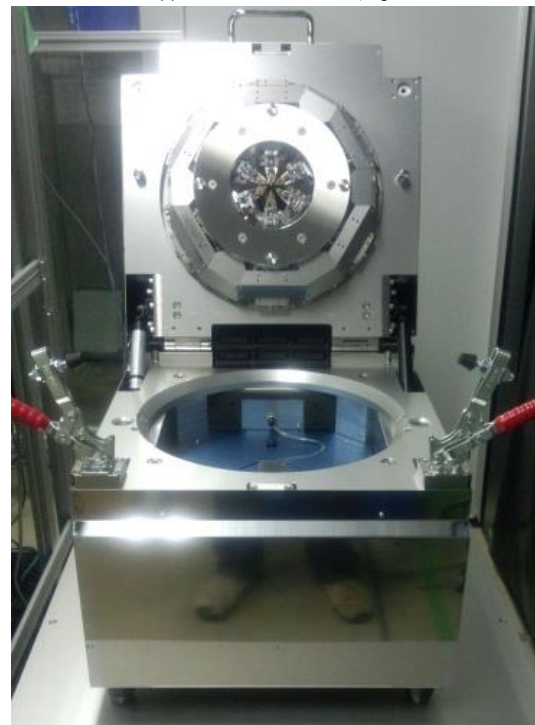


Fig.3 Photograph of Prober

2.3 自動針寄せシステム

ナノプロービングにおいて、複数のプローブで近接する電極にプローブするために、さらに、AFM 式ナノプローバでは相互のプローブの位置を確認するために、プローブの針先を数 μm まで近接させて、AFM 操作を行う必要があります。従来は、複数の針先を μm 精度で近づけることは、熟練を必要とする作業でしたが、本システムにおいては光学顕微鏡の針先の画像から、オートフォーカスして、針先のパターン認識によって、カンチレバーの針先の位置を特定して、PC 制御により、針先相互距離 $2\ \mu\text{m}$ 近傍まで寄せることができます。さらにそのプローブを

試料面からの所定の高さにセットできます。Fig.4 に 4 本プローブの時のプローブがセットされて、自動的に寄せられていく様子を示します。このように、ステージのエンコーダ値によってセットされたこの状態から、針先のパターン認識によって針先を特定し、2段階のズームを用いて 2 μm 程度まで、近接させることができます。

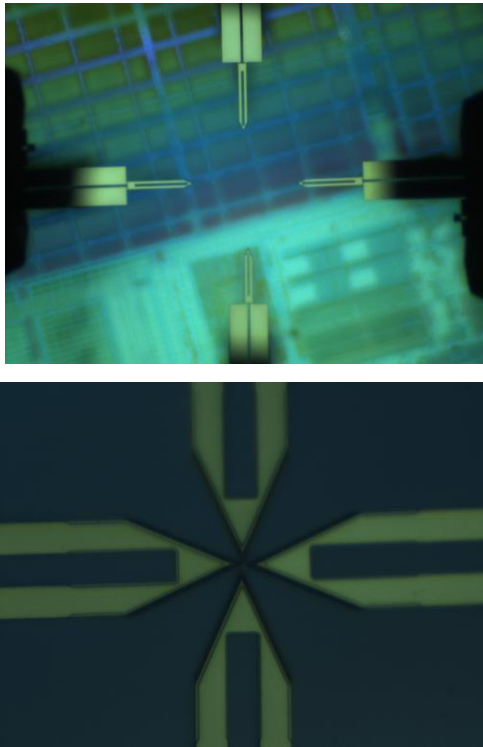


Fig. 4 Cantilevers Image during PC control positioning

3. 測定と評価

3.1 AFM での評価

電氣的測定に先立ち AFM としての評価を今回の試料である Intel 社製 22nm Processed SRAM で行った。Fig.5 に示された AFM 像と電流イメージは 10Hz という高速 Scan で測定したものです。

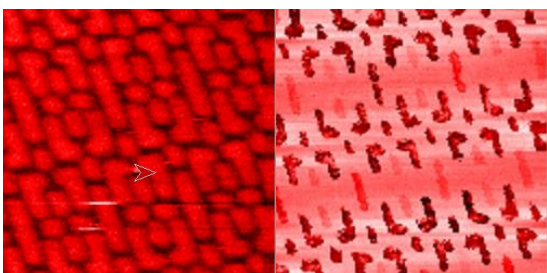


Fig.5 AFM image and current image

実際には、SRAM の端で、それぞれのプローブでイメージを取り、重ね合わせることで相互位置を確認し、測定対象のメモリーセルを同定してそのセルの電極にプローブをおこない。下地に流れる電流からコンタクトを確認、SRAM の Pull Up のトランジスタのトランジスタ性能を Id-Vd として測定を行いました。

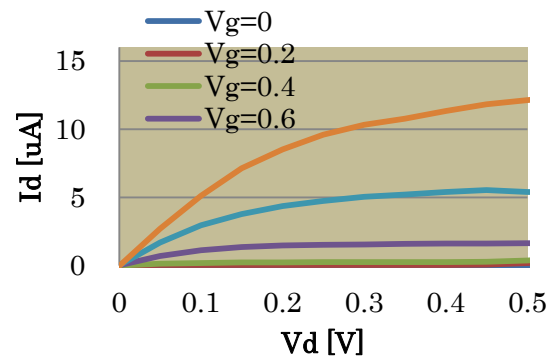


Fig.6 22nm SRAM Tr performance

4. まとめ

昨年報告した自己検知型 AFM 式ナノプローブにおいて 22nm の SRAM のトランジスタ単体にプローブして、トランジスタの特性を評価することができた。また、光学顕微鏡像を基に画像認識を用いて、針先を寄せるなどの新機能もきちんと動作することを確認した。

謝辞

本実験は、NEDO のイノベーション実用化開発費助成を受けています。また、産総研ベンチャーとして、ご支援いただいた産業技術総合研究所、特にナノエレクトロニクス部門、金丸部門長に、さらにはプロジェクトにご賛同いただき、サポートしていただいている三友製作所、(株)シグマテック、(株)ビーエヌテクノロジー、(株)テクトス、N-point 社の尽力に感謝します。

参考文献

- [1] 塩田隆、大木敦己、天野佳之 NANO テスティングシンポジウム/2012,pp211-216 2013
- [2] 福井宗利、奈良安彦、古川貴司、三井泰裕、矢野史子、日立評論 Vol. 3 pp57-60 2006
- [3] 三木一司、特許第 2500331 号:微小変位検出器